

# Messung der elektrischen Feldstärke unter 30 MHz

## Messverfahren in der GTEM-Zelle und Vergleichsmessungen zum normgerechten Messaufbau

**Ein verbreitetes Messverfahren zur Ermittlung der elektrischen Feldstärke unter 30 MHz ist die Messung in 1 m Messentfernung mit einer Stabantenne. Praktische Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass schon kleine Unzulänglichkeiten im Aufbau zu erheblichen Abweichungen der Messergebnisse führen können. Die Messung der Störaussendung in der GTEM-Zelle ist ein alternatives, relativ einfach anzuwendendes Verfahren, das seit einiger Zeit erfolgreich praktiziert wird und sich neben einer hohen Empfindlichkeit auch durch eine sehr gute Reproduzierbarkeit auszeichnet.** RALF HEINRICH, UWE KARSTEN

Die erforderlichen Prüfaufbauten für die Ermittlung der elektrischen Feldstärke unter 30 MHz in einem Meter Messentfernung mit einer Stabantenne sind in den einschlägigen Normen zum Beispiel für Kraftfahrzeug- oder Flugzeugkomponenten und MIL-Standards [1,2] beschrieben. Die Probleme mit der praktischen Umsetzung des Verfahrens haben dazu geführt, dass alternative Verfahren mit Hilfe der GTEM-Zelle entwickelt und die Resultate mit den Ergebnissen des normgerechten Messaufbaus verglichen wurden.

### Normgerechtes Messverfahren mit einer Stabantenne

#### Messaufbau

Der Prüfaufbau wurde in Anlehnung an den in der CISPR 25 dargestellten Messaufbau zunächst im Schirmraum auf einem ein Meter tiefen Metalltisch aufgebaut. Der Metall-

tisch grenzte an beiden Seiten an die Wand des Schirmraums und wurde dort mit der Wand leitfähig verbunden. Abbildung 1 zeigt den Messaufbau im Schirmraum ohne Masseanbindung. Das Prüfkabel mit einer Länge von 1,5 m befand sich in einem Abstand von 10 cm von der Tischkante und in einer Höhe von 5 cm über der Tischfläche. Einseitig war eine Netznachbildung und an der anderen Seite der Prüfling (Generator) an das Prüf-

stalliert und die HF- und Steuersignale über Durchführungen aus dem Schirmraum herausgeführt. Die für den Monopol anzuwendenden Korrekturfaktoren wurden automatisch berücksichtigt.

Anlage B.3 der deutschen Ausgabe der CISPR 25 verwendet einen ‚Normstörer‘, der ein konstantes Ausgangsamplitudenspektrum im gesamten interessierenden Frequenzbereich haben soll. Als Signalquelle



Abb. 1: Messaufbau im Schirmraum ohne allseitig leitfähige Verbindung zur Wand des Schirmraumes

kabel angeschlossen. In einem Abstand von 1 m vom Prüfling war der Monopol aufgestellt, dessen leitfähige Grundfläche mit einer ca. 60 cm breiten Metallplatte leitfähig mit dem Metalltisch verbunden wurde. Die Mess- und Steuereinrichtungen für den Aufbau wurden außerhalb des Schirmraums in-

wurde ein Pulsgenerator eingesetzt, der ein breitbandiges Spektrum erzeugt. Um im interessierenden Frequenzbereich ausreichend viele Stützstellen zu erhalten, wurden vier Rechteckimpulse verwendet, die für die entsprechenden Frequenzteilbereiche in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

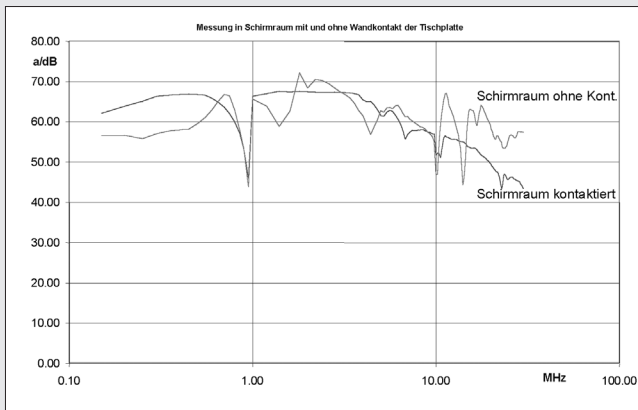


Abb.2: Messung der elektrischen Feldstärke im Bereich von 150 kHz bis 30 MHz im Schirmraum mit und ohne Wandkontakt der Tischplatte

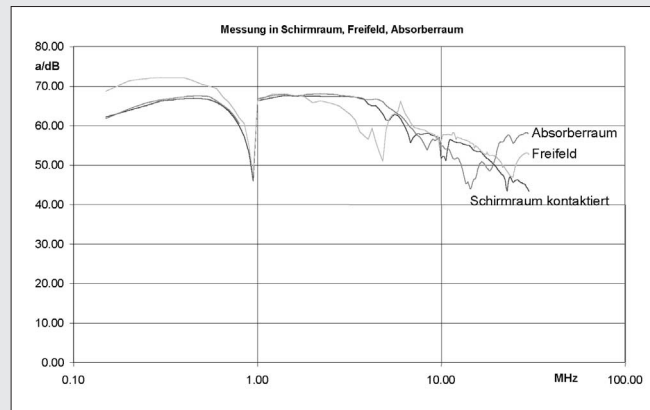


Abb.3: Vergleich der Messergebnisse im Schirmraum, Freifeld und Absorberraum

### Messungen und Ergebnisse

Die Messungen mit der Referenz wurden in folgenden Messumgebungen durchgeführt:

- ▶ im Schirmraum, Tisch gut mit den Wänden kontaktiert
- ▶ im Schirmraum, Tisch nicht mit den Wänden kontaktiert
- ▶ im Absorberraum in verschiedenen Varianten
- ▶ im Freien
- ▶ in der GTEM-Zelle

Abbildung 2 zeigt die Messung der elektrischen Feldstärke im Bereich von 150 kHz bis 30 MHz im Schirmraum mit und ohne Wandkontakt der Tischplatte. Bei den Messungen ist insbesondere auf eine sorgfältige, allseitige Masseanbindung des Metalltisches zu achten. Eine nur mangelhafte Kontaktierung führt zu einer erheblichen Welligkeit des Frequenzgangs mit Schwankungen von mehr als 10 dB.

Abbildung 3 zeigt einen Vergleich der Ergebnisse im Schirmraum, Freifeld und Absorberraum. Sowohl im Absorberraum als auch im Freifeld war eine Masseanbindung der metallischen Tischplatte nicht optimal realisierbar. Dadurch spielt die Größe der Masseplatte eine Rolle. Sie bildet zusammen mit dem Prüfling und der Messumgebung einen resonanzfähigen Aufbau. Ideal wäre eine unendlich große Masseplatte, die in der Praxis jedoch nicht realisierbar ist. Im Standard werden jedoch nur Mindestmaße ange-

geben, so dass sich bei unterschiedlichen Messaufbauten teilweise erhebliche Unterschiede ergeben. Ähnliche Untersuchungen wurden für den Frequenzbereich oberhalb von 30 MHz in [3] beschrieben.

### Alternatives Verfahren - GTEM-Zelle

In Anlehnung an das Messverfahren mit einer Stabantenne wurde eine vergleichbare Anordnung in der GTEM-Zelle realisiert. Abbildung 4 zeigt den prinzipiellen Messaufbau. Der Prüfaufbau befindet sich auf dem Boden der GTEM-Zelle. Das Prüfkabel mit einer Länge von 1,5 m liegt in einer Höhe von 5 cm über dem Zellenboden. Es ist einseitig an eine Netznachbildung angeschlossen, am anderen Ende ist der Pulsgenerator angeschlossen. Der Abstand des Prüfkabels zu der Netznachbildung bzw. dem Generator beträgt 10 cm.

Das Septum der GTEM-Zelle dient als breitbandige Empfangsantenne und ersetzt den Monopol. Somit kann die leitungsgebundene Abstrahlung des Prüflings in vergleichbarer Art und Weise wie mit einem Monopol gemessen werden. Am Ausgang der GTEM-Zelle ist eine der abgestrahlten Störfeldstärke proportionale Spannung zu messen. Diese kann auf Grundlage einer vorher durchgeführten Referenzmessung leicht in die abgestrahlte Störfeldstärke des Prüflings umgerechnet werden. Die Aufnahme der Referenzkennlinie erfolgt mit dem in Abbildung 4 dargestellten Prüfaufbau. Anstelle

des Prüflings wird der oben beschriebene Generator verwendet.

Die Ergebnisse der Referenzmessung in der GTEM-Zelle werden mit den im Schirmraum erzielten Ergebnissen korreliert. Daraus ergibt sich ein linearer Korrekturfaktor (Gerade über dem log. Frequenzbereich), der zur Umrechnung der in der GTEM-Zelle gemessenen Spannung in die äquivalente Feldstärke benutzt wird. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass es sich bei den Ergebnissen mit der GTEM-Zelle um eine Spannung handelt, im Schirmraum jedoch eine Feldstärke gemessen wurde. Beides ist in einem Diagramm dargestellt. Die Ergebnisse sind also nur qualitativ vergleichbar!

Die Referenzwerte der GTEM-Zelle gelten für eine bestimmte Position des Aufbaus innerhalb der GTEM-Zelle, da die gemessenen Pegel von der Höhe des Septums an der Stelle des Aufbaus abhängen. Bei Untersuchungen konnte bestätigt werden, dass diese Abhängigkeit jedoch streng linear ist. Bei Bedarf kann der Aufbau also auch an einer anderen Position innerhalb der GTEM-Zelle aufgebaut werden, wenn die Referenzkurve entsprechend linear verschoben wird. Die Ergebnisse der Messung der elektrischen Feldstärke in der GTEM-Zelle mit und ohne Anwendung der Korrekturfaktoren sind in Abbildung 5 dargestellt.

### Vergleich der Verfahren

Wie bereits erwähnt, hängt bei dem häufig verwendeten Messverfahren mit einer Stabantenne die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse von der exakten Einhaltung der Messbedingungen ab, wobei insbesondere die Masseanbindung des Aufbaus von großer Bedeutung ist. Ein wesentlicher Vorteil des Messverfahrens in der GTEM-Zelle ist

B.07

Tabelle 1: Messbereiche und Einstellungen des Pulsgenerators

	1	2	3	4
Frequenzbereich	0,15 – 1 MHz	1 – 6 MHz	6 – 24 MHz	24 – 30 MHz
Pulsbreite	1 µs	0,1 µs	25 ns	40 ns
Wiederholrate	20 µs	5 µs	5 µs	5 µs

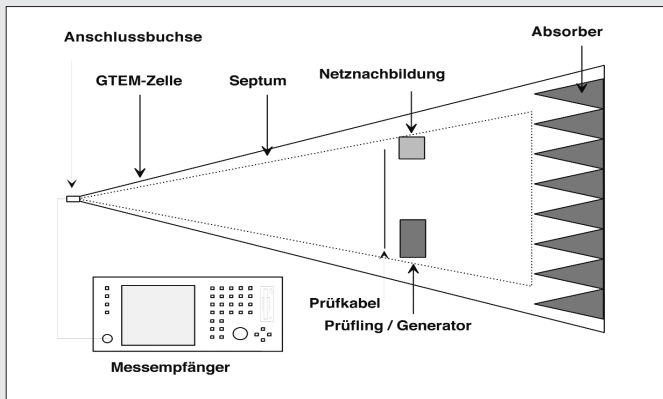


Abb. 4: Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Messung der elektrischen Feldstärke mit einer GTEM-Zelle

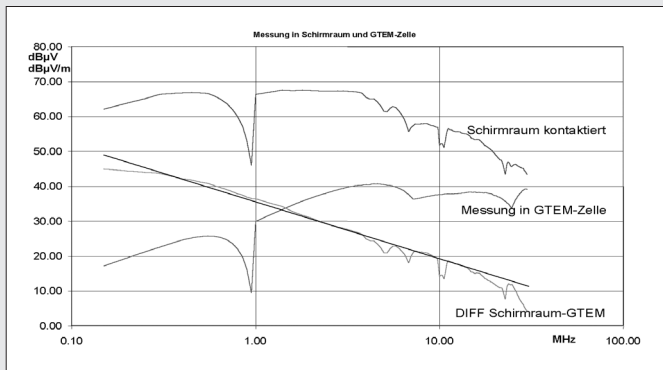


Abb. 5: Messergebnisse der elektrischen Feldstärke in der GTEM-Zelle und Korrelation der Ergebnisse mit den Messungen im Schirmraum. Der sich daraus ergebende Korrekturfaktor ist linear

tiv einfaches Verfahren zur Verfügung steht, das sich neben einer hohen Empfindlichkeit auch durch eine sehr gute Reproduzierbarkeit auszeichnet. Das Verfahren kann im Bereich bis 30 MHz die Messung mit einem 1 m Monopol in 1 m Abstand voll ersetzen und wird in dieser Form seit einiger Zeit erfolgreich praktiziert.

Literatur

- [1] CISPR 25: „Limits and Methods of Measurement of Radio Disturbance Characteristics for Protection of Receivers Used on Board Vehicles“, Second edition 2002-08, IEC
- [2] RTCA/DO-160D: „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“, Section 21, 1997-07
- [3] A. Kritz, W. Müllner, F.W. Traunitz, J. Riedelsheimer, H. Seitle: „Messtechnische Untersuchung des Einflusses der Erdung von CISPR-25-Emissionsmessplätzen.“, Test Kompendium 2004, S.75

Beitrag als PDF auf [www.duv24.net](http://www.duv24.net)

more @ click DV4B0706 >

dessen einfache Handhabung sowie die hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse. Die Messung in der GTEM-Zelle muss durch eine einmalige Referenzmessung mit den Ergebnissen des 1 m Monopols in 1 m Abstand korreliert werden. Die dabei erzielten Referenzwerte können für alle folgenden Messungen ähnlich den Korrekturfaktoren für Antennen verwendet werden. Der Korrekturfaktor kann in eine Emissionssoftware eingebunden werden. Die entsprechende Innenleiterhöhe der GTEM-Zelle wird der Software als Parameter mitgeteilt und das Ergebnis kann direkt als Feldstärke ausgegeben werden.

Die Grenzen des Verfahrens liegen in der oberen Grenzfrequenz von 30 MHz. Darüber sind die Abmessungen des Prüfaufbaus nicht mehr als klein gegenüber der Wellenlänge zu betrachten, was eine Messung bei unterschiedlichen Polarisierungen mit den entsprechenden Antennen erfordert.

Zusammenfassung

Es wurden verschiedene Verfahren zur Messung der elektrischen Feldstärke im Bereich von 150 kHz bis 30 MHz untersucht und deren Reproduzierbarkeit sowie mögliche Fehlerquellen betrachtet. Dabei konnte festgestellt werden, dass mit der Messung der Störaussendung in der GTEM-Zelle ein rela-